

Corso di Laurea in Scienza dei Materiali  
*Laboratorio di Fisica II*

**ESPERIENZA OTT2**

***Ottica fisica: diffrazione e dipendenza di  $n$  dalla frequenza***

**Scopo dell'esperienza:**

1. Visualizzazione delle figura di diffrazione prodotta dalla fenditura rettangolare singola;
2. visualizzazione della figura di diffrazione prodotta dal reticolo di diffrazione per luce monocromatica;
3. visualizzazione della figura di diffrazione prodotta dal reticolo di diffrazione per luce policromatica;
4. determinazione delle caratteristiche della figura di diffrazione prodotta dal reticolo: dispersione e larghezza angolare;
5. misura della dipendenza dell'indice di rifrazione di un materiale dalla frequenza della luce incidente per mezzo di un prisma.

**Richiami teorici**

Diffrazione da una fenditura rettilinea (di lunghezza infinita):

Si consideri una fenditura rettilinea infinita, ovvero di lunghezza molto maggiore della sua larghezza,  $a$ . La figura di diffrazione che si osserva su uno schermo posto dietro la fenditura, a grande distanza da essa, quando un'onda piana luminosa incide su di essa e' caratterizzata da una successione di massimi di intensita' luminosa in corrispondenza di angoli  $\theta$ , rispetto alla direzione di incidenza della luce, fissati dalla relazione:

$$\sin \theta_m \simeq (m + 1/2) \frac{\lambda}{a} \quad (1)$$

dove  $\lambda$  e' la lunghezza d'onda della radiazione incidente. Per  $m = 0$  si ha il massimo centrale, mentre per  $m = \pm 1, \pm 2, \dots$  si hanno i massimi secondari del primo ordine, secondo ordine ....

Tali massimi secondari laterali presentano intensita' molto minori rispetto all'intensita' del massimo centrale, decrescenti al crescere dell'ordine del massimo.

I minimi di intensita' si hanno per gli angoli  $\theta$  per i quali:

$$\sin \theta = m \frac{\lambda}{a} \quad (2)$$

Come si puo' vedere dalle (1) e (2), se la luce incidente e' bianca, il massimo centrale risultera' a sua volta bianco, cioe' dato dalla sovrapposizione dei massimi di tutte le lunghezze d'onda componenti la radiazione incidente, mentre i primi massimi laterali risulteranno essere "colorati", cioe' il primo massimo per il viola, che ha lunghezza d'onda minore, si avra' per un angolo minore rispetto al rosso, cosicche' sullo schermo si osserveranno tutti i colori componenti separati. I massimi secondari di ordine superiore risultano in genere mescolati.

La larghezza angolare del massimo centrale, intesa come distanza tra i primi minimi laterali, e' data da:

$$\Delta(\sin \theta) = \frac{2\lambda}{a} \quad (3)$$

### Diffrazione da un reticolo

Un reticolo di diffrazione puo' essere schematizzato come una successione di un numero,  $N$ , molto elevato di fenditure rettilinee uguali, parallele ed equispaziate; esso resta caratterizzato da due grandezze:

- il passo,  $d$ , definito come la distanza tra gli assi di due fenditure successive;
- la larghezza totale,  $L = N d$ .
- 

La figura di diffrazione che si osserva su uno schermo posto dietro il reticolo, a grande distanza da esso, quando un'onda piana luminosa incide su di esso e' caratterizzata da una successione di massimi di intensita' luminosa in corrispondenza di angoli  $\theta$ , rispetto alla direzione di incidenza della luce, fissati dalla relazione:

$$\sin \theta_m = m \frac{\lambda}{d} \quad (4)$$

dove  $\lambda$  e' la lunghezza d'onda della radiazione incidente. Per  $m = 0$  si ha il massimo centrale, mentre per  $m = \pm 1, \pm 2, \dots$  si hanno i massimi secondari del primo ordine, secondo ordine ....

Tali massimi secondari laterali presentano intensita' un po' minori rispetto all'intensita' del massimo centrale, decrescenti al crescere dell'ordine del massimo.

Come si puo' vedere dalla (4), se la luce incidente e' bianca, il massimo centrale risultera' a sua volta bianco, cioe' dato dalla sovrapposizione dei massimi di tutte le lunghezze d'onda componenti la radiazione incidente, mentre i massimi laterali risulteranno essere "colorati", cioe' il primo massimo per il viola, che ha lunghezza d'onda minore, si avra' per un angolo minore rispetto al rosso, cosicche' sullo schermo si osserveranno tutti i colori componenti separati.

Il numero di massimi secondari visibili per effetto dell'interferenza, resta fissato dalla relazione:

$$m_{max} \leq \frac{d}{\lambda} \quad (5)$$

cio' vuol dire che si vedra' un numero di massimi laterali pari al valore della parte intera del rapporto tra il passo del reticolo e la lunghezza d'onda della radiazione incidente. Inoltre, a causa della azione contemporanea dei fenomeni di interferenza tra tutte le fenditure e di diffrazione da ogni fenditura, si puo' avere il caso in cui lo stesso angolo  $\theta$  corrisponde ad un massimo principale di interferenza e a un minimo (nullo) di diffrazione; in questo caso nella figura di diffrazione manchera' una serie di massimi principali, il primo dei quali e' dato dalla relazione

$$m' = \frac{d}{a} \quad (5')$$

dove  $d$  e' sempre il passo del reticolo ed  $a$  e' la larghezza della singola fenditura.

La larghezza angolare del massimo di ordine  $m$  e' data da:

$$\Delta \theta_m = \frac{2\lambda}{N d \cos \theta_m} \quad (6)$$

e, come si puo' vedere, dipende dalla larghezza totale del reticolo e dall'ordine del massimo considerato: per avere un massimo ben definito, cioe' ben stretto, sara' necessario utilizzare un

reticolo di dimensione totale  $L = Nd$  grande e scegliere un massimo laterale per il quale  $\cos \theta_m$  sia il piu' possibile prossimo a 1, cioe', tipicamente, il primo massimo laterale.

Se la luce che incide sul reticolo contiene piu' componenti monocromatiche, esse potranno essere distinte tanto piu' facilmente quanto maggior sara' la separazione angolare dei massimi di un certo ordine per i vari colori. La separazione angolare per unita' di lunghezza d'onda prende il nome di dispersione e risulta:

$$D = \frac{\Delta \theta}{\Delta \lambda} = \frac{m}{d \cos \theta_m} \quad (7)$$

Essa dipende dal passo del reticolo e dall'ordine del massimo considerato.

Per poter separare bene le componenti presenti in un fascio di luce policromatica si dovra' allora:

1. considerare un massimo laterale di ordine basso, tipicamente il primo;
2. utilizzare un reticolo che consenta di ottenere una larghezza angolare dei singoli massimi il piu' possibile piccola, cioe'  $L = Nd$  grande;
3. utilizzare un reticolo che consenta di ottenere una dispersione delle componenti elevata, cioe'  $d$  piccolo.

Cio' vuol dire che sara' meglio operare con un reticolo di passo  $d$  piccolo e con un numero  $N$  di fenditure elevato. Si definisce "potere risolutivo" del reticolo la quantita':

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = m N \quad (8)$$

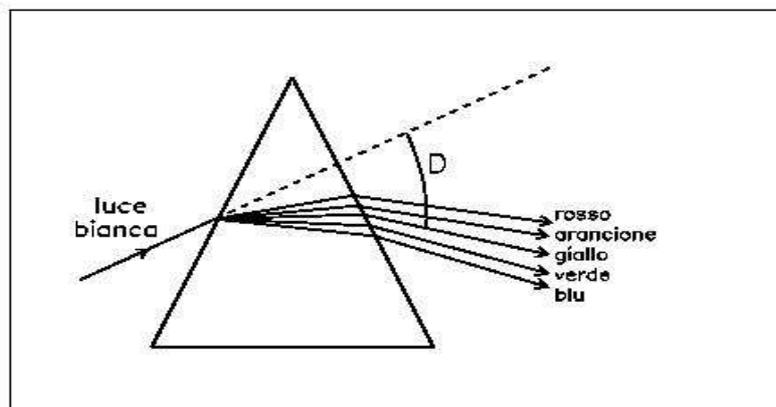
Un elevato valore di  $R$  indica che il reticolo consente di risolvere linee con lunghezze d'onda  $\lambda$  e  $\lambda + \Delta \lambda$  separate da un  $\Delta \lambda$  molto piccolo.

#### Criterio di Rayleigh:

due linee spettrali di lunghezza d'onda  $\lambda$  e  $\lambda + \Delta \lambda$  si dicono separate quando la posizione angolare di una di esse coincide con il primo zero laterale dell'altra, cioe' quando il massimo di  $\lambda$  coincide con il primo minimo di  $\lambda + \Delta \lambda$ .

#### Dispersione della luce

L'indice di rifrazione dipende dalla lunghezza d'onda della luce; questo vuol dire che raggi luminosi di colori diversi, cioe' di lunghezze d'onda diverse, attraversando la superficie di separazione tra due mezzi con indici di rifrazione diversi, verranno deviati secondo angoli diversi, come indicato in figura per un raggio di luce bianca che si propaga in aria e incide su un prisma triangolare, per esempio di vetro.



Per misurare questa dipendenza utilizzerete uno “spettroscopio” in cui il fascio di luce di una lampada al Mercurio viene prima collimato attraverso una fenditura e poi reso parallelo da un sistema di lenti e inviato su un prisma di plexiglas posto su un piattello rotante. Il fascio rifratto viene osservato con un cannocchiale che può ruotare e l’angolo di rotazione può essere misurato con grande precisione con un goniometro posto sulla base del piattello. Siccome la luce emessa dalla lampada contiene svariate lunghezze d'onda, disposte in modo da formare uno “spettro a righe”, vi sarà possibile misurare l'angolo di deviazione  $D$  in corrispondenza a diversi colori.

## Attività sperimentale

### OTT2\_1. Figura di diffrazione di una fenditura rettilinea.

Accendete il laser posto di fronte alla fenditura variabile: la sua lunghezza d'onda è  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ . Portate il regolatore della apertura della fenditura nella posizione di zero, se già non vi si trova.

**Siate molto delicati nell'agire sulla manopola del regolatore.**

Iniziate ad aprire la fenditura portandola a  $a = 10 \mu\text{m}$ ; in tale configurazione osservate la figura di diffrazione prodotta ed individuate i primi due massimi laterali. Misurate gli angoli corrispondenti e verificate se sono compatibili con i valori previsti in base alla (1). Ricordate che, per angoli piccoli, minori di circa  $10^\circ = 0.17 \text{ rad}$ , può essere utilizzata l'approssimazione  $\text{tg } \theta \sim \sin \theta \sim \theta$ .

$$a = 10 \mu\text{m}$$

<i>massimo</i>	$\theta_{\text{misurato}}$	$\theta_{\text{calcolato}}$	<i>compatibilita'</i>
1 <sup>^</sup> dx	$\pm$		
2 <sup>^</sup> dx	$\pm$		
1 <sup>^</sup> sx	$\pm$		
2 <sup>^</sup> sx	$\pm$		

Misurate la larghezza angolare del massimo centrale e confrontatela con quella attesa secondo la (3).

Aprirete ora la fenditura a  $a = 20 \mu\text{m}$  e ripetete la serie di misure

<i>massimo</i>	$\theta_{\text{misurato}}$	$\theta_{\text{calcolato}}$	<i>compatibilita'</i>
1 <sup>^</sup> dx	$\pm$		
2 <sup>^</sup> dx	$\pm$		
1 <sup>^</sup> sx	$\pm$		
2 <sup>^</sup> sx	$\pm$		

Aprirete ora la fenditura a  $a = 30 \mu\text{m}$  e ripetete la serie di misure

<i>massimo</i>	$\theta_{\text{misurato}}$	$\theta_{\text{calcolato}}$	<i>compatibilita'</i>
1 <sup>^</sup> dx	$\pm$		
2 <sup>^</sup> dx	$\pm$		
1 <sup>^</sup> sx	$\pm$		
2 <sup>^</sup> sx	$\pm$		

## OTT2\_2. Figura di diffrazione di reticolo: luce monocromatica

Spostate ora la fenditura variabile e al suo posto introducete il reticolo di diffrazione con 300 linee/mm. Osservate sullo schermo la figura di diffrazione prodotta.

Valutate il passo del reticolo:

$$d = \quad \mu m$$

Confrontate il numero di massimi laterali visibili  $m_{max}$  con la relazione (5).

Misurate gli angoli dei massimi secondari visibili, sia a destra che a sinistra del massimo centrale e confrontate i valori con quelli previsti in base alla (4).

<i>ordine</i>	<i>angolo misurato</i>	<i>angolo atteso</i>
1 <sup>^</sup> sx	±	
1 <sup>^</sup> dx	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	

Valutare la larghezza delle fenditure del reticolo.

Passare ora al banco con il laser verde: la sua lunghezza d'onda è  $\lambda = 6328 \text{ nm}$  ; utilizzare il reticolo da 600 linee/mm.

Valutate il passo del reticolo:

$$d = \quad \mu m$$

Confrontate il numero di massimi laterali visibili  $m_{max}$  con la relazione (5).

Misurate gli angoli dei massimi secondari visibili, sia a destra che a sinistra del massimo centrale e confrontate i valori con quelli previsti in base alla (4).

<i>ordine</i>	<i>angolo misurato</i>	<i>angolo atteso</i>
1 <sup>^</sup> sx	±	
1 <sup>^</sup> dx	±	
	±	
	±	
	±	
	±	
	±	

Valutare la larghezza delle fenditure del reticolo.

### **OTT2\_3. Misura dell'indice di rifrazione**

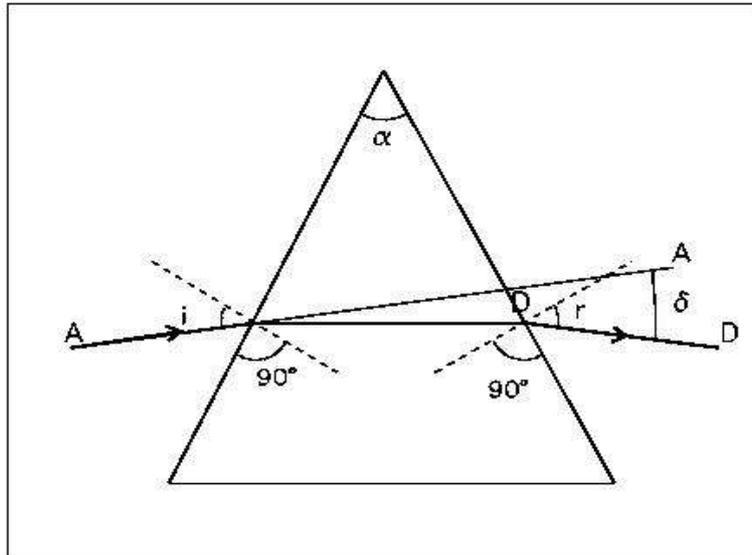
Sostituite il reticolo di diffrazione con il prisma di plexiglas. Chiedete aiuto al docente o all'assistente per il suo posizionamento sul piattello rotante dello spettroscopio.

Il prisma di vetro ha un angolo rifrangente  $\alpha$  di **60°**. Voi farete le misure in condizioni di simmetria fra direzione del raggio incidente e quella del raggio uscente, che corrispondono a un angolo  $\delta$  di deviazione minimo. In queste condizioni, valgono le relazioni:

$$\sin \frac{(\alpha + \delta)}{2} = n \sin \frac{\alpha}{2} \quad (9)$$

$$n = \frac{(\sin \frac{(\alpha + \delta)}{2})}{(\sin \frac{\alpha}{2})} \quad (10)$$

Nella figura e' riportato il cammino di un raggio di una certa lunghezza d'onda: si possono riconoscere facilmente la direzione di incidenza AA, la direzione di uscita del fascio rifratto, DD e l'angolo di deviazione  $\delta$ .



Misurate la direzione del fascio incidente, AA, utilizzando la parte di fascio che passa sopra il prisma:

Direzione di incidenza = (             $\pm$             ) rad

Spostate poi l'oculare fino a trovare i vari raggi rifratti, direzione DD.

Individuate le righe spettrali le cui lunghezze d'onda avete determinato al punto precedente, grazie al reticolo di diffrazione.

Misurate gli angoli dei diversi raggi rifratti, riempiendo la seguente tabella.

(nm)	DD (rad)	$\delta$ (rad)	$\sin \frac{(\alpha + \delta)}{2}$	n
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$

Calcolate per ogni raggio rifratto l'angolo di deviazione minima,  $\delta$ , e quindi, utilizzando la (10), il valore dell'indice di rifrazione, n.

Nel calcolare l'angolo di deviazione minima  $\delta$  ricordate che esso e' ricavato come differenza tra l'angolo della direzione di incidenza AA e quello della direzione di uscita DD e che l'angolo rifrangente  $\alpha$  puo' essere considerato privo di errore. .

Riportate in un grafico  $n$  in funzione della lunghezza d'onda, riportando anche gli errori.

Determinate la dipendenza dell'indice di rifrazione del plexiglas dalla lunghezza d'onda della radiazione (suggerimento: la dipendenza tipica per materiali trasparenti non colorati e' di tipo

parabolico:  $y = a + \frac{b}{x^2}$  ) e tracciate la curva di interpolazione sui dati misurati.